

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS  
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

Helsinki 26.1.2004

ETUOIKEUSTODISTUS  
PRIORITY DOCUMENT

Hakija  
Applicant

Nokia Corporation  
Helsinki

Patenttihakemus nro  
Patent application no

20030389

Tekemispäivä  
Filing date

14.03.2003

Kansainvälinen luokka  
International class

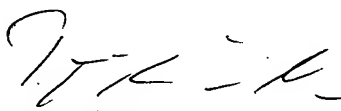
H03B

Keksinnön nimitys  
Title of invention

**"Menetelmä siniaaltosignaalin generoimiseksi"**

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

  
Pirjo Kaila  
Tutkimussihteeri

Maksu 50 €  
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328  
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328  
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

## Menetelmä siniaaltosignaalin generoimiseksi

### Keksinnön ala

Keksintö liittyy siniaaltosignaalin generoimiseen digitaalisesti, erityisesti siniaaltosignaalin generoimiseen käyttäen reaalityttöaritmetiikkaa ja monen näytteistystaajuuden prosessointia.

### Keksinnön tausta

Digitaalisia siniaaltogeneraattoreita käytetään yleisesti värähtelevän siniaaltosignaalin generoimiseksi monissa eri elektroniikkasovelluksissa. Esimerkiksi matkaviestimissä digitaalisia siniaaltogeneraattoreita käytetään tyypillisesti muun muassa yksinkertaisten soittoäänien tai DTMF-äänien (Dual-Tone Multi-Frequency) generoimiseksi.

Tunnetun tekniikan mukaan siniaaltosignaali voidaan generoida digitaalisesti esimerkiksi käyttämällä muistitaulukkoon tallennettua signaalin aaltomuotoa. Menetelmä on yleisesti käytössä monissa elektroniikkalaitteissa, kuten matkaviestimissä, joissa taulukoihin tallennetaan siniaallon näytteitä. Taulukoihin voidaan tallentaa myös muita aaltomuotoja, kuten ääninäytteitä. Menetelmässä käytetään tyypillisesti laskuria generoimaan taulukon osoite, josta haluttu ääninäyte voidaan löytää tarvittaessa. Mikäli tallennettuja näytteitä on kuitenkin paljon, voivat tällaiset taulukot olla hyvin suuria, mikä edellyttää suurta muistikapasiteettia elektroniikkalaitteelta.

Taulukon kokoa voidaan tosin minimoida siten, että tallennetaan taulukkoon näyte, jonka pituus on ainoastaan yksi neljäsosa siniaaltosignaalin aallonpituudesta. Näitä siniaaltosignaalin neljänneksiä yhdistämällä voidaan muodostaa esimerkiksi erilaisia DTMF-ääniä. Lisäksi näytteitä voidaan tallentaa karkealla tasolla ja interpoloida hienojakoisemmat näytteet. Ongelmana on kuitenkin edelleen elektroniikkalaitteen muistikapasiteetin liiallinen käyttö. Nykyään elektroniikkalaitteiden, etenkin matkaviestinten, suunnittelun eräs kriteeri on juuri muistikapasiteetin käytön minimoiminen.

Siniaaltosignaali voidaan generoida digitaalisesti myös käyttämällä tunnetun tekniikan mukaista digitaalista siniaalto-oskillaattoria. Tyypilliset siniaalto-oskillaattorit vaativat ainakin yhden kertoimen eli jokaista näytettä kohden on ainakin yksi kertolasku, joka määrittää generoitavan taajuuden. Koska digitaalisilla siniaalto-oskillaattoreilla on tyypillisesti ennalta määritetty aritmetiikan kokonaissanapituus, tulee kerroin yleisesti kvantisoida jo ennen siniaaltosignaalin generoimista sen pituiseksi, kuin sille on allokoitu tilaa. Kertoimen kvan-

tisointi aiheuttaa kuitenkin generoitavan siniaaltosignaalin vääristymistä, mikä vaikuttaa sekä signaalin taajuuteen että amplitudiin. Siten etenkin matalan taajuuden ja puolen näytteistystaajuuden läheisyydessä olevan taajuuden generointi tarkasti on yleisesti vaikeaa.

5 Kvantisoinnin vaikutusta voidaan pienentää kasvattamalla suotimen bittileveyksiä riittävän suorituskyvyn aikaansaamiseksi. Tällöin ongelmana on kuitenkin se, että menetelmä lisää laskennallista kompleksisuutta huomattavasti. Lisäksi bittileveysmodifikaatiot ja -skaalaukset rajoittavat yleisesti siniaaltosignaalin parametrisointia.

10 Julkaisussa M.M. Al-Ibrahim, "A Simple Recursive Digital Sinusoidal Oscillator With Uniform Frequency Spacing", The 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, osa: 2, 2001 sivuilla 689 – 692 esitetään eräs tietoliikennetekniikan sovelluksissa käytettävä digitaalinen siniaalto-oskillaattori, joka on järjestetty generoimaan siniaaltosignaaleja, edullisesti matalataajuuksisia siniaaltosignaaleja, tasaisilla taajuusväleillä. Ongelmana tässä  
15 julkaisun mukaisessa siniaalto-oskillaattorissa on kuitenkin se, että siinä käytetään monimutkaista kompleksilukuaritmetiikkaa siniaaltosignaalin generoimiseksi. Mikäli julkaisun mukaisen toiminnallisuuden toteuttava algoritmi suoritetaan esimerkiksi digitaalisella signaaliprosessorilla DSP (Digital Signal Processor), jokaista ulostulonäytettä kohden joudutaan suorittamaan useita käs-  
20 kykierroksia.

### Keksinnön lyhyt selostus

Keksinnön tavoitteena on näin ollen kehittää menettely siten, että yllä mainittujen ongelmien haittoja voidaan vähentää. Keksinnön tavoite saavutetaan menetelmillä, laitteilla ja ohjelmistotuotteella, joille on tunnusomaista se,  
25 mitä sanotaan itsenäisissä patenttivaatimuksissa. Keksinnön edulliset suoritusmuodot ovat epäitsenäisten patenttivaatimusten kohteena.

Keksintö perustuu siihen, että määritetään generoitavalle siniaaltosignaalin haluttu taajuus  $f$  ja näytteistystaajuus  $f_s$ . Mikäli haluttu taajuus  $f$   
30 on suurempi kuin ylempi rajataajuus, edullisesti suurempi kuin  $0,375f_s$ , määritetään kerroin  $c$  näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran  $N$  funktiona, esimerkiksi siten, että kertoimen  $c$  arvo vastaa yhtälöä (1):

$$c = 2 \cos\left(\frac{2\pi f}{N f_s}\right) \quad (1)$$

Ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte määritetään kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen lineaarikombinaationa. Ulostulonäytejono desimoidaan näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerralla  $N$  halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ .

- 5        Keksintö perustuu toisaalta siihen, että määritetään generoitavalle siniaaltosignaali haluttu taajuus  $f$  ja näytteistystaajuus  $f_s$ . Mikäli haluttu taajuus  $f$  on pienempi kuin alempi rajataajuus, edullisesti pienempi kuin  $0,125f_s$ , määritetään kerroin  $c$  näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran  $N$  funktiona, esimerkiksi siten, että kertoimen  $c$  arvo vastaa yhtälöä (2):

10

$$c = 2 \cos \left( \frac{1}{N} \left( \pi - \frac{f}{f_s} \right) \right) \quad (2)$$

- Ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte määritetään kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen lineaarikombinaationa. Ensimmäinen ulostulo-  
15    näytejono kerrotaan kiinteätaajuisella siniaallolla toisen ulostulonäytejonon generoimiseksi. Toinen ulostulonäytejono desimoidaan näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerralla  $N$  halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ .

- Erään edullisen suoritusmuodon mukaan kerroin  $c$  määritetään dis-  
20    kreetin taajuusindeksin,  $f_{index}$ , avulla siten, että taajuusindeksin,  $f_{index}$ , arvo olennaisesti vastaa haluttua taajuutta  $f$ .

- Keksinnön mukaisella järjestelyllä saavutetaan huomattavia etuja. Eräänä etuna on se, että ulostulonäytteen määrittäminen on suhteellisen yksinkertaista, koska menettelyssä käytetään reaalityyppistä menetelmää moni-  
25    mutkaisen kompleksityyppisen sijasta. Eräänä etuna on edelleen se, että keksinnön mukaisella menettelyllä voidaan generoida halutun taajuista siniaaltosignaalia matalan taajuuden ja puolen näytteistystaajuuden läheisyydessä suhteellisen tarkasti, sillä generoitavan taajuuden määrittävä kerroin  $c$  voi edustaa suhteellisen tarkasti taajuutta  $f$  tällä taajuusalueella. Eräänä etuna on  
30    lisäksi se, että menettely ei vaadi muistikapasiteettia kuluttavia muistitaulukoi-  
ta, joiden koko voi olla hyvinkin suuri.

### Kuvioiden ja liitteiden lyhyt selostus

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joista:

Kuvio 1 esittää tunnetun tekniikan mukaista digitaalista siniaalto-oskillaattoria;

Kuvio 2 esittää keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaista digitaalista siniaalto-oskillaattoria korkeille taajuuksille;

5 Kuvio 3 esittää keksinnön erään edullisen suoritusmuodon mukaista digitaalista siniaalto-oskillaattoria matalille taajuuksille; ja

Kuvio 4 esittää erilaisilla menetelmillä generoitujen taajuuksien suhdetta taajuusindeksin funktiona.

### **Keksinnön yksityiskohtainen selostus**

10 Digitaalisia siniaaltogeneraattoreita, kuten digitaalisia siniaalto-oskillaattoreita, käytetään yleisesti värähtelevän siniaaltosignaalin generoimiseksi monissa eri elektroniikkasovelluksissa. Esimerkiksi matkaviestimissä digitaalisia siniaaltogeneraattoreita käytetään tyypillisesti muun muassa yksinkertaisten soittoäänien tai DTMF-äänien generoimiseksi.

15 Siniaalto-oskillaattorien toiminta perustuu yleisesti takaisinkytkentään, sillä ulostulosignaalia syötetään takaisinkytkentänä piirin sisäänmenoon. Syöttöjännitteen kytkeytyminen aiheuttaa jännitesykäyksen ulostulosignaaliin. Kun sykäys takaisinkytketään sisäänmenoon, se tyypillisesti vahvistuu ja kytkeytyy jälleen takaisin sisäänmenoon. Siten kytkentä alkaa värähdellä. Siniaalto-oskillaattoreita ovat muun muassa RC-oskillaattorit, kuten Wienin siltaoskillaattorit ja RC-ketjuoskillaattorit, LC-oskillaattorit ja kideoskillaattorit. Keksintö ja sen suoritusmuodot eivät kuitenkaan rajoitu vain tässä esitettyihin oskillaattoreihin, vaan keksintöä ja sen suoritusmuotoja voidaan soveltaa myös muihin siniaaltogeneraattoreihin.

25 Näytteistystaajuudella  $f_s$  tarkoitetaan tämän keksinnön yhteydessä sitä, kuinka usein signaalista otetaan näytteitä eli kuinka usein analogista signaalia digitoidaan. Digitoidun signaalin laatu yleisesti paranee, näytteistystaajuuden  $f_s$  kasvaessa.

30 Keksinnön mukaisia edullisia suoritusmuotoja esitetään tässä hakemuksessa siten, että käytetään kaksinkertaista näytteistystaajuutta  $2f_s$ . Keksintö ja sen suoritusmuodot eivät kuitenkaan rajoitu kaksinkertaisen näytteistystaajuuden  $2f_s$  käyttöön, vaan keksinnön mukainen menettely voidaan toteuttaa myös käyttämällä mitä tahansa näytteistystaajuuden  $f_s$  monikertaa  $N$ . Tällöin näytteet desimoidaan monikerran kertoimella  $N$  halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi.

35

Kuviossa 1 on esitetty lohkokaavio eräästä tyypillisestä digitaalisesta siniaaltogeneraattorista, jonka ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte  $y(n)$  on lineaarinen yhdistelmä kahdesta aiemmasta ulostulonäytteestä,  $y(n-1)$  ja  $y(n-2)$ . Tätä voidaan kuvata seuraavalla rekursiivisella differenssiyhtälöllä (3):

5

$$y(n) = c \cdot y(n-1) - y(n-2) \quad (3)$$

missä

$$n \geq 0$$

10

$y(n)$  = ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte

$c$  = kerroin

Kerroin  $c$  voidaan määrittää halutun taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  funktiona, esimerkiksi seuraavan yhtälön (4) mukaan:

15

$$c = 2 \cos\left(\frac{2\pi f}{f_s}\right) \quad (4)$$

Kerroin  $c$  kvantisoidaan tyypillisesti jo ennalta, sillä kertoimen  $c$  pituus ei saa ylittää sille allokoitua pituutta digitaalisessa siniaalto-oskillaattorissa, jonka aritmetiikan kokonaissananpituus on ennalta määritetty. Määritettäessä kerroin  $c$  yhtälön (4) mukaan ongelmana on kuitenkin se, että kosinifunktiosta johtuen kvantisoitu kerroin  $c$  ei yleisesti edusta kovin tarkasti sel-  
20 laista taajuutta  $f$ , joka on hyvin matala näytteistystaajuuteen  $f_s$  verrattuna, tai joka on lähellä puolta näytteistystaajuutta  $f_s/2$ . Ongelma voidaan ratkaista kuitenkin esimerkiksi taajuusmuunnoksella, minkä seurauksena voidaan aikaan-  
25 saada siniaaltosignaali suhteellisen tarkasti halutulla taajuudella  $f$ . Taajuusmuunnos lisää kuitenkin menettelyn monimutkaisuutta.

Toisaalta siniaaltosignaaleja voidaan generoida myös esimerkiksi monimutkaisilla aritmeettisilla siniaaltogeneraattoreilla siten, että yhdistetään  
30 esimerkiksi kahden siniaaltogeneraattorin ulostulonäytteet, joista ensimmäinen generaattori generoi säädettävää taajuutta, ja toinen generaattori generoi kiinteää taajuutta, jolloin säädettävää taajuutta generoiva generaattori voi toimia taajuusalueella, jossa kvantisoitu kerroin  $c$  voi edustaa taajuutta tarkemmin.

Keksinnön mukainen menettely perustuu osittain tähän jälkim-  
35 mäiseen menettelyyn. Keksinnön mukainen menettely on kuitenkin huomattavasti

tavasti yksinkertaisempi ja siten helpommin sovellettavissa erilaisiin käyttö-tarkoituksiin. Keksinön mukaisessa menettelyssä käytetään hyväksi reaali-lukuaritmetiikkaa ja monen näytteistystaajuuden prosessointia sellaisen siniaal-tosignaalin generoimiseksi, jolla on halutut ominaisuudet.

5 Kuviossa 2 on esitetty erään digitaalisen siniaalto-oskillaattorin loh-kokaavio, joka voi toteuttaa seuraavaksi esitettävän erään edullisen suoritus-muodon mukaisen menetelmän.

Menetelmässä määritetään ennalta generoitavan siniaaltosignaalin haluttu taajuus  $f$  sekä näytteistystaajuus  $f_s$ . Tässä hakemuksessa alemmalla  
10 rajataajuudella tarkoitetaan taajuutta, joka on olennaisesti  $0,2f_s$ , ja ylemmällä rajataajuudella taajuutta, joka on olennaisesti  $0,3f_s$ . Mikäli haluttu taajuus  $f$  on suurempi kuin ylempi rajataajuus, edullisesti suurempi kuin  $0,375f_s$ , määrite-tään kerroin  $c$  seuraavalla tavalla. Koska siniaaltosignaalia näytteistetään kak-sinkertaisella näytteistystaajuudella  $2f_s$ , jotta generoitavan taajuuden  $f$  ja kak-  
15 sinkertaisen näytteistystaajuuden  $2f_s$  eli niin sanotun korkeamman näytteistys-taajuuden suhde on sellaisella alueella, jossa taajuudet voidaan esittää suh-teellisen tarkasti kvantisointiaritmetiikalla, kerroin  $c$  määritetään generoitavan taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  funktiona yhtälön (4) mukaan siten, että näytteistystaajuudeksi  $f_s$  sijoitetaan kaksinkertainen näytteistystaajuus  $2f_s$ , jol-loin yhtälö (4) saa muodon (1):  
20

$$c = 2 \cos\left(\frac{2\pi f}{Nf_s}\right) \quad (1)$$

missä  $N$  kuvaa näytteistystaajuuden  $f_s$  monikertaa. Tässä edullises-sa suoritusmuodossa  $N = 2$ . Ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte  $y_1(n)$   
25 generoidaan kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen,  $y_1(n-1)$  ja  $y_1(n-2)$ , lineaarikombinaationa. Kuten edellä jo esitettiin, siniaaltosignaalia näytteis-tetään korkeammalla näytteistystaajuudella  $2f_s$ . Tämä korkeammalla näytteis-tystaajuudella  $2f_s$  generoitu ensimmäinen ulostulonäytejono  $y_1$  desimoidaan  $D$   
30 vielä kahdella eli näytteistä otetaan vain joka toinen, halutun taajuisen siniaal-tosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ .

Kuviossa 3 on esitetty erään digitaalisen siniaalto-oskillaattorin loh-kokaavio, joka toteuttaa erään edullisen seuraavaksi esitettävän suori-tusmuodon mukaisen menetelmän.

Menetelmässä määritetään ennalta generoitavan siniaaltosignaalin haluttu taajuus  $f$  sekä näytteistystaajuus  $f_s$ . Mikäli haluttu taajuus  $f$  on pienempi kuin alempi rajataajuus, edullisesti pienempi kuin  $0,125f_s$ , määritetään kerroin  $c$  seuraavalla tavalla. Koska menetelmässä generoidaan ensin siniaalto-

5 signaalia taajuudelle  $0,5f_s - f$ , ja siniaaltosignaalia näytteistetään kaksinkertaisella näytteistystaajuudella  $2f_s$ , jotta generoitavan taajuuden  $f$  ja kaksinkertaisen näytteistystaajuuden  $2f_s$  suhde on sellaisella alueella, jossa taajuu-

det voidaan esittää suhteellisen tarkasti kvantisointiaritmetiikalla, kerroin  $c$  määritetään generoitavan taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  funktiona yhtä-

10 lön (4) mukaan siten, että taajuudeksi  $f$  sijoitetaan taajuus  $0,5f_s - f$ , jolloin yhtä-

lö (4) saa muodon (2):

$$c = 2 \cos \left( \frac{1}{N} \left( \pi - \frac{f}{f_s} \right) \right) \quad (2)$$

15 Ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte  $y_1(n)$  generoidaan taajuudelle  $0,5f_s - f$  kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen,  $y_1(n-1)$  ja  $y_1(n-2)$ , lineaarikombinaationa. Taajuus  $0,5f_s - f$  on lähellä korkeamman näytteistystaajuuden  $2f_s$  neljänneestä, kun haluttu taajuus  $f$  on pieni. Kuten edellä jo esitettiin, siniaaltosignaalia näytteistetään kaksinkertaisella näytteistystaajuudella  $2f_s$ , minkä seurauksena generoitu ensimmäinen ulostulonäytejono  $y_1$  ker-

20 rotaan kiinteätaajuisella siniaallolla, kuten sekvenssillä  $1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, \dots$ , mikä olennaisesti vastaa kertomista toisella siniaaltosignaaliilla, jonka taajuus on neljäsosa korkeammasta näytteistystaajuudesta eli  $f_s/2$ . Reaalilukuaritmetiikasta johtuen ensimmäisen ulostulonäytejonon  $y_1$  kertominen tällä kiinteätaajuisella siniaallolla tuottaa kaksi siniaaltokomponenttia eli toisen ulostulonäytejonon  $y_2$ . Ensimmäisen komponentin taajuus on haluttu taajuus  $f$  ja toisen komponentin taajuus on näytteistystaajuuden  $f_s$  ja halutun taajuuden  $f$  erotus eli  $f_s - f$ . Tämä toinen ulostulonäytejono  $y_2$  desimoidaan  $D$  vielä kahdella, jolloin toinen siniaaltokomponentti laskostuu halutulle taajuudelle  $f$ , jolloin saadaan

25 yksi halutun taajuinen  $f$  siniaaltosignaali halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ .

Erään edullisen suoritusmuodon mukaan kerroin  $c$  määritetään käyttämällä diskreettiä taajuusindeksiä,  $\text{findex}$ , jolloin siniaalto-oskillaattorissa vältytään kertoimen  $c$  laskemiselta yhtälön (4) mukaan. Taajuusindeksin,  $\text{findex}$ , käyttöä havainnollistetaan seuraavassa esimerkissä.



Taajuusindeksin, *findex*, ollessa kokonaisluku alueella 0 – 65535, tunnetun tekniikan mukaisella siniaaltosignaalin generointimenetelmällä, kuten kuviossa 1 esitetyn mukaisella siniaaltogeneraattorilla, voidaan generoida yhtälöstä (4) johdetun yhtälön (5) mukaan seuraavia taajuuksia:

5

$$\frac{f}{f_s} = \frac{1}{2\pi} \arccos\left(\frac{32768 - \text{findex}}{32768}\right) \quad (5)$$

Sulkulauseke vastaa tässä puolikasta kerrointa  $c$  eli  $c/2$ .

10 Tunnetun tekniikan mukaisella siniaaltosignaalin generointimenetelmällä generoidaan edullisesti sellaisia siniaaltosignaaleja, joiden haluttu taajuus  $f$  on taajuusalueella  $0,125f_s - 0,375f_s$ , jolloin  $16384 \leq \text{findex} \leq 49151$ . Tällöin halutun taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  suhde on sellaisella alueella, jossa kerroin  $c$  voi edustaa suhteellisen tarkasti haluttua taajuutta  $f$ .

15 Halutun taajuuden  $f$  ollessa suurempi kuin ylempi rajataajuus, edullisesti suurempi kuin  $0,375f_s$ , jolloin  $49151 \leq \text{findex} \leq 65535$ , saadaan yhtälöstä (4) johtamalla taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  suhteeksi:

$$\frac{f}{f_s} = \frac{1}{\pi} \arccos\left(\frac{65535 - \text{findex}}{32768}\right) \quad (6)$$

20 Mikäli haluttu taajuus  $f$  on kuitenkin pienempi kuin alempi rajataajuus, edullisesti pienempi kuin  $0,125f_s$ , jolloin  $0 \leq \text{findex} \leq 16384$ , saadaan yhtälöstä (2) johtamalla taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  suhteeksi:

$$\frac{f}{f_s} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \arccos\left(\frac{\text{findex}}{32768}\right) \quad (7)$$

25

Erään edullisen suoritusmuodon mukaan siniaaltosignaalin generointitoiminnallisuus voidaan toteuttaa myös algoritmilla, joka tyypillisesti koodataan ohjelmistokoodiksi jollakin ohjelmistokielellä, kuten C++:lla. Ohjelmistokoodi voidaan suorittaa esimerkiksi digitaalisella signaaliprosessorilla DSP (Digital  
30 Signal Processor) tai mikrokontrollerilla MCU (Micro Controller Unit). Sama aritmeettinen toiminnallisuus voidaan suorittaa myös esimerkiksi kiinteällä loogikalla, kuten ASIC-piirillä.

Kuviossa 4 esitetty kaavio havainnollistaa edellä esitettyjä suoritusmuotoja. Käyrä 1 esittää tunnetun tekniikan mukaisella menetelmällä ja käyrä

2 edellä esitettyjen edullisten suoritusmuotojen mukaisilla menetelmillä generoitujen taajuuksien suhdetta taajuusindeksiin,  $f_{index}$ , funktiona. Käyrä 3 esittää taajuuksien suhdetta taajuusindeksiin,  $f_{index}$ , funktiona ideaalitapauksessa. Verrattaessa kuvion avulla eri menetelmillä saatuja tuloksia ideaalikäyrään, voidaan todeta, että keksinnön edullisten suoritusmuotojen mukaisilla menetelmillä voidaan aikaansaada parempia tuloksia kuin tunnetun tekniikan mukaisella siniaaltosignaalin generointimenetelmällä, mikäli generoitava taajuus on pienempi kuin alempi rajataajuus tai suurempi kuin ylempi rajataajuus. Tunnetun tekniikan mukaisella generointimenetelmällä voidaan aikaansaada kuitenkin näiden edullisten suoritusmuotojen mukaisesti generoituja tuloksia vastavia tuloksia, mikäli generoitava taajuus on suurempi tai yhtä suuri kuin alempi rajataajuus tai pienempi tai yhtä suuri kuin ylempi rajataajuus.

Edellä kuvatut siniaaltosignaalin generointimenetelmät voidaan toteuttaa keksinnön eräiden edullisten suoritusmuotojen mukaisilla siniaalto-generaattoreilla.

Erään edullisen suoritusmuodon mukaan siniaaltogeneraattori käsittelee välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen  $y_1(n)$  määrittämiseksi mainitun kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen,  $y_1(n-1)$  ja  $y_1(n-2)$ , lineaarikombinaationa. Siniaaltogeneraattori käsittelee lisäksi välineet halutun taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  suhteen määrittämiseksi, välineet kertoimen  $c$  määrittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran  $N$  funktiona, esimerkiksi siten, että sen arvo vastaa aiemmin esitettyä yhtälöä (1), ja välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $y_1(n)$  desimoimiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerralla  $N$  halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ , vasteena sille, että haluttu taajuus  $f$  on suurempi kuin ylempi rajataajuus.

Erään edullisen suoritusmuodon mukaan siniaalto-oskillaattori käsittelee välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen  $y_1(n)$  määrittämiseksi mainitun kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen,  $y_1(n-1)$  ja  $y_1(n-2)$ , lineaarikombinaationa. Siniaaltogeneraattori käsittelee lisäksi välineet halutun taajuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  suhteen määrittämiseksi, välineet kertoimen  $c$  määrittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran  $N$  funktiona, esimerkiksi siten, että sen arvo vastaa aiemmin esitettyä yhtälöä (2), välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $y_1$  kertomiseksi kiinteätaajuisella siniaallolla, kuten sekvenssillä 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, ..., toisen ulostulonäytejonon  $y_2$  generoimiseksi, ja välineet toisen ulostulonäytejonon  $y_2$  desimoimiseksi näyt-

teistystaajuuden  $f_s$  monikerralla  $N$  halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ , vasteena sille, että haluttu taajuus ( $f$ ) on pienempi kuin alempi rajataajuus.

Erään edullisen suoritusmuodon mukaan siniaalto-oskillaattori käsittää välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen  $y_1(n)$  määrittämiseksi kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen,  $y_1(n-1)$  ja  $y_1(n-2)$ , lineaarikombinaationa. Siniaalto-oskillaattori käsittää lisäksi välineet halutun taajisuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  suhteen määrittämiseksi, välineet kertoimen  $c$  määrittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran  $N$  funktiona, esimerkiksi siten, että sen arvo vastaa aiemmin esitettyä yhtälöä (1), ja välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $y_1$  desimoimiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerralla  $N$  halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ , vasteena sille, että haluttu taajuus  $f$  on suurempi kuin ylempi rajataajuus. Siniaalto-oskillaattori käsittää lisäksi välineet kertoimen  $c$  määrittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran  $N$  funktiona, esimerkiksi siten, että sen arvo vastaa aiemmin esitettyä yhtälöä (2), välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $y_1$  kertomiseksi kiinteätaajuisella siniaallolla, kuten sekvenssillä 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1,..., toisen ulostulonäytejonon  $y_2$  generoimiseksi, ja välineet toisen ulostulonäytejonon  $y_2$  desimoimiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerralla  $N$  halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ , vasteena sille, että haluttu taajuus  $f$  on pienempi kuin alempi rajataajuus. Siniaalto-oskillaattori käsittää lisäksi välineet kertoimen  $c$  määrittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  funktiona esimerkiksi siten, että sen arvo vastaa aiemmin esitettyä yhtälöä (4), halutun taajuisen  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ , vasteena sille, että haluttu taajuus  $f$  on suurempi tai yhtä suuri kuin alempi rajataajuus tai pienempi tai yhtä suuri kuin ylempi rajataajuus.

Siniaaltosignaalin generointitoiminnallisuus voidaan aikaansaada myös elektroniikkalaitteeseen sovitettavissa olevalla ohjelmistotuotteella.

Erään edullisen suoritusmuodon mukaan ohjelmistotuote käsittää ohjelmistokoodin ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen  $y_1(n)$  määrittämiseksi kertoimen  $c$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen,  $y_1(n-1)$  ja  $y_1(n-2)$ , lineaarikombinaationa ja ohjelmistokoodin halutun taajisuuden  $f$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  määrittämiseksi. Ohjelmistotuote käsittää lisäksi ensimmäisen aliprosessin vasteena sille, että haluttu taajuus  $f$  on suurempi kuin ylempi rajataajuus. Ensimmäinen aliprosessi käsittää ohjelmistokoodin kertoimen  $c$  mää-

rittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran funktiona esimerkiksi siten, että  
 sen arvo vastaa aiemmin esitettyä yhtälöä (1), ja ohjelmistokoodin ensimmäi-  
 sen ulostulonäytejonon  $y_1$  desimoimiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerralla  
 N halutun taajuuden  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaa-  
 5 juudella ( $f_s$ ). Ohjelmistotuote käsittää lisäksi toisen aliprosessin vasteena sille,  
 että haluttu taajuus  $f$  on pienempi kuin alempi rajataajuus. Toinen aliprosessi  
 käsittää ohjelmistokoodin kertoimen  $c$  määrittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$   
 monikerran N funktiona esimerkiksi siten, että sen arvo vastaa aiemmin esitet-  
 tyä yhtälöä (2), ohjelmistokoodin ensimmäisen ulostulonäytejonon  $y_1$  kertomi-  
 10 seksi kiinteätaajuisella siniaallolla, kuten sekvenssillä 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1,...,  
 toisen ulostulonäytejonon  $y_2$  generoimiseksi, ja ohjelmistokoodin toisen ulostu-  
 lonäytejonon  $y_2$  desimoimiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerralla N halutun  
 taajuuden  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $f_s$ .  
 Ohjelmistotuote käsittää lisäksi kolmannen aliprosessin vasteena sille, että  
 15 haluttu taajuus  $f$  on suurempi tai yhtä suuri kuin alempi rajataajuus tai pienempi  
 tai yhtä suuri kuin ylempi rajataajuus. Kolmas aliprosessi käsittää ohjel-  
 mistokoodin kertoimen  $c$  määrittämiseksi näytteistystaajuuden  $f_s$  monikerran N  
 funktiona esimerkiksi siten, että sen arvo vastaa aiemmin esitettyä yhtälöä (4)  
 halutun taajuuden  $f$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaa-  
 20 juudella  $f_s$ .

Alan ammattilaiselle on ilmeistä, että tekniikan kehittyessä keksin-  
 nön perusajatus voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Keksintö ja sen suoritus-  
 muodot eivät siten rajoitu yllä kuvattuihin esimerkkeihin ja komponentteihin,  
 vaan ne voivat vaihdella patenttivaatimusten puitteissa.

**Patenttivaatimukset**

1. Menetelmä siniaaltosignaalin generoimiseksi, jossa menetelmässä määritetään mainitulle siniaaltosignaaliin haluttu taajuus ( $f$ ) ja näytteistystaajuus ( $f_s$ ), ja määritetään ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte ( $y_1(n)$ ) kertoimen ( $c$ ) ja kahden aiemman ulostulonäytteen ( $y_1(n-1)$ ,  $y_1(n-2)$ ) lineaarikombinaationa

tunnettu siitä, että  
mikäli haluttu taajuus ( $f$ ) on suurempi kuin ylempi rajataajuus, määritetään kerroin ( $c$ ) mainitun näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikeran ( $N$ ) funktiona, ja  
desimoidaan ensimmäinen ulostulonäytejono ( $y_1$ ) näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerralla ( $N$ ) halutun taajuisen ( $f$ ) siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella ( $f_s$ ).

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä,  
tunnettu siitä, että  
määritetään kerroin ( $c$ ) diskreetin taajuusindeksin ( $f_{index}$ ) avulla, jonka taajuusindeksin ( $f_{index}$ ) arvo olennaisesti vastaa haluttua taajuutta ( $f$ ).

3. Menetelmä siniaaltosignaalin generoimiseksi, jossa menetelmässä määritetään mainitulle siniaaltosignaaliin haluttu taajuus ( $f$ ) ja näytteistystaajuus ( $f_s$ ), ja määritetään ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :s näyte ( $y_1(n)$ ) kertoimen ( $c$ ) ja kahden aiemman ulostulonäytteen ( $y_1(n-1)$ ,  $y_1(n-2)$ ) lineaarikombinaationa,

tunnettu siitä, että  
mikäli haluttu taajuus ( $f$ ) on pienempi kuin alempi rajataajuus, määritetään kerroin ( $c$ ) mainitun näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikeran ( $N$ ) funktiona,

kerrotaan mainittu ensimmäinen ulostulonäytejono ( $y_1$ ) kiinteätaajuisella siniaallolla toisen ulostulonäytejonon ( $y_2$ ) generoimiseksi, ja  
desimoidaan toinen ulostulonäytejono ( $y_2$ ) näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerralla ( $N$ ) halutun taajuisen ( $f$ ) siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella ( $f_s$ ).

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä,  
tunnettu siitä, että  
määritetään kerroin ( $c$ ) diskreetin taajuusindeksin ( $f_{index}$ ) avulla, jonka taajuusindeksin ( $f_{index}$ ) arvo olennaisesti vastaa haluttua taajuutta ( $f$ ).

5. Siniaalto-oskillaattori, joka on järjestetty generoimaan halutun taajuista ( $f$ ) siniaaltosignaalia näytteistystaajuudella ( $f_s$ ), ja joka siniaalto-oskillaattori käsittää välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen ( $y_1(n)$ ) määrittämiseksi mainitun kertoimen ( $c$ ) ja kahden aiemman ulostulonäytteen ( $y_1(n-1)$ ,  $y_1(n-2)$ ) lineaarikombinaationa,

t u n n e t t u siitä, että mainittu siniaalto-oskillaattori käsittää lisäksi:  
välineet halutun taajuuden ( $f$ ) ja näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) suhteen määrittämiseksi,  
välineet kertoimen ( $c$ ) määrittämiseksi mainitun näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerran ( $N$ ) funktiona, ja  
välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon ( $y_1$ ) desimoimiseksi mainitulla näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerralla ( $N$ ) halutun taajuisen ( $f$ ) siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella ( $f_s$ ),  
vasteena sille, että haluttu taajuus ( $f$ ) on suurempi kuin ylempi raja-  
taajuus.

6. Siniaalto-oskillaattori, joka on järjestetty generoimaan halutun taajuista ( $f$ ) siniaaltosignaalia näytteistystaajuudella ( $f_s$ ), ja joka siniaalto-oskillaattori käsittää välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen ( $y_1(n)$ ) määrittämiseksi mainitun kertoimen ( $c$ ) ja kahden aiemman ulostulonäytteen ( $y_1(n-1)$ ,  $y_1(n-2)$ ) lineaarikombinaationa,

t u n n e t t u siitä, että mainittu siniaalto-oskillaattori käsittää lisäksi:  
välineet halutun taajuuden ( $f$ ) ja näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) suhteen määrittämiseksi,

välineet kertoimen ( $c$ ) määrittämiseksi mainitun näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerran ( $N$ ) funktiona,

välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon ( $y_1$ ) kertomiseksi kiinteätaajuisella siniaallolla toisen ulostulonäytejonon ( $y_2$ ) generoimiseksi, ja

välineet mainitun toisen ulostulonäytejonon ( $y_2$ ) desimoimiseksi mainitulla näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerralla ( $N$ ) halutun taajuisen ( $f$ ) siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella ( $f_s$ ),

vasteena sille, että haluttu taajuus ( $f$ ) on pienempi kuin alempi raja-  
taajuus.

7. Siniaalto-oskillaattori, joka on järjestetty generoimaan halutun taajuista ( $f$ ) siniaaltosignaalia näytteistystaajuudella ( $f_s$ ), ja joka siniaalto-oskillaattori käsittää välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen

$(y_1(n))$  määrittämiseksi mainitun kertoimen  $(c)$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen  $(y_1(n-1), y_1(n-2))$  lineaarikombinaationa,

t u n n e t t u siitä, että mainittu siniaaltogeneraattori käsittää lisäksi:

välineet halutun taajuuden  $(f)$  ja näytteistystaajuuden  $f_s$  suhteen

5 määrittämiseksi,

välineet kertoimen  $(c)$  määrittämiseksi mainitun näytteistystaajuuden  $(f_s)$  monikerran  $(N)$  funktiona, ja

välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $(y_1)$  desimoimiseksi mainitulla näytteistystaajuuden  $(f_s)$  monikerralla  $(N)$  halutun taajuuden  $(f)$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $(f_s)$ ,

10 vasteena sille, että haluttu taajuus  $(f)$  on suurempi kuin ylempi rajataajuus,

välineet kertoimen  $(c)$  määrittämiseksi mainitun näytteistystaajuuden  $(f_s)$  monikerran  $(N)$  funktiona,

15 välineet ensimmäisen ulostulonäytejonon  $(y_1)$  kertomiseksi kiinteätaajuisella siniaallolla toisen ulostulonäytejonon  $(y_2)$  generoimiseksi, ja

välineet mainitun toisen ulostulonäytejonon  $(y_2)$  desimoimiseksi mainitulla näytteistystaajuuden  $(f_s)$  monikerralla  $(N)$  halutun taajuuden  $(f)$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $(f_s)$ ,

20 vasteena sille, että haluttu taajuus  $(f)$  on pienempi kuin alempi rajataajuus, ja

välineet kertoimen  $(c)$  määrittämiseksi mainitun näytteistystaajuuden  $(f_s)$  funktiona halutun taajuuden  $(f)$  siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella  $(f_s)$ ,

25 vasteena sille, että haluttu taajuus  $(f)$  on suurempi tai yhtä suuri kuin alempi rajataajuus tai pienempi tai yhtä suuri kuin ylempi rajataajuus.

8. Ohjelmistotuote halutun taajuuden  $(f)$  siniaaltosignaalin generoimiseksi näytteistystaajuudella  $(f_s)$ , joka ohjelmistotuote käsittää ohjelmistokoodin ensimmäisen ulostulonäytejonon  $n$ :nnen näytteen  $(y_1(n))$  määrittämiseksi mainitun kertoimen  $(c)$  ja kahden aiemman ulostulonäytteen  $(y_1(n-1), y_1(n-2))$  lineaarikombinaationa,

t u n n e t t u siitä, että mainittu ohjelmistotuote käsittää lisäksi:

ohjelmistokoodin halutun taajuuden  $(f)$  ja näytteistystaajuuden  $(f_s)$  suhteen määrittämiseksi, sekä

35 ensimmäisen aliprosessin vasteena sille, että haluttu taajuus  $(f)$  on suurempi kuin ylempi rajataajuus, joka ensimmäinen aliprosessi käsittää:

ohjelmistokoodin kertoimen ( $c$ ) määrittämiseksi, mainitun näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerran ( $N$ ) funktiona, ja

ohjelmistokoodin ensimmäisen ulostulonäytejonon ( $y_1$ ) desimoimiseksi mainitulla näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerralla ( $N$ ) halutun taajuisen ( $f$ )  
5 siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella ( $f_s$ ),

toisen aliprosessin vasteena sille, että haluttu taajuus ( $f$ ) on pienempi kuin alempi rajataajuus, joka toinen aliprosessi käsittää:

ohjelmistokoodin kertoimen ( $c$ ) määrittämiseksi mainitun näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerran ( $N$ ) funktiona,

10 ohjelmistokoodin ensimmäisen ulostulonäytejonon ( $y_1$ ) kertomiseksi kiinteätaajuisella siniaallolla toisen ulostulonäytejonon ( $y_2$ ) generoimiseksi, ja

ohjelmistokoodin mainitun toisen ulostulonäytejonon ( $y_2$ ) desimoimiseksi mainitulla näytteistystaajuuden ( $f_s$ ) monikerralla ( $N$ ) halutun taajuisen ( $f$ ) siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella ( $f_s$ ), ja

15 kolmannen aliprosessin vasteena sille, että haluttu taajuus ( $f$ ) on suurempi tai yhtä suuri kuin alempi rajataajuus tai pienempi tai yhtä suuri kuin ylempi rajataajuus, joka kolmas aliprosessi käsittää:

ohjelmistokoodin kertoimen ( $c$ ) määrittämiseksi mainitun näytteistystaajuuden  $f_s$  funktiona halutun taajuisen ( $f$ ) siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla

20 näytteistystaajuudella ( $f_s$ ).



**(57) Tiivistelmä**

Menetelmät, laitteet ja ohjelmistotuote halutun taajuisen digitaalisen siniaaltosignaalin generoimiseksi halutulla näytteistystaajuudella. Mikäli haluttu taajuus on suurempi kuin ylempi rajataajuus, määritetään kerroin näytteistystaajuuden monikerran funktiona sekä ensimmäisen ulostulonäytejonon näyte kertoimen ja kahden aiemman ulostulonäytteen lineaarikombinaationa. Ensimmäinen ulostulonäytejono desimoidaan näytteistystaajuuden monikerralla halutun siniaaltosignaalin generoimiseksi. Mikäli haluttu taajuus on pienempi kuin alempi rajataajuus, määritetään kerroin näytteistystaajuuden monikerran funktiona sekä ensimmäisen ulostulonäytejonon näyte kertoimen ja kahden aiemman ulostulonäytteen lineaarikombinaationa. Ensimmäinen ulostulonäytejono kerrotaan kiinteätaajuisella siniaallolla toisen ulostulonäytejonon generoimiseksi. Toinen ulostulonäytejono desimoidaan näytteistystaajuuden monikerralla halutun siniaaltosignaalin generoimiseksi.

(Kuvio 2)

1/3  
L6

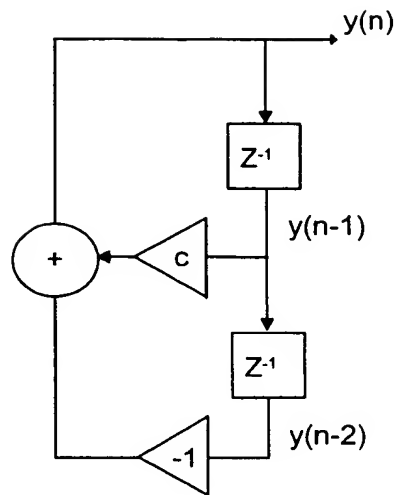


Fig. 1.

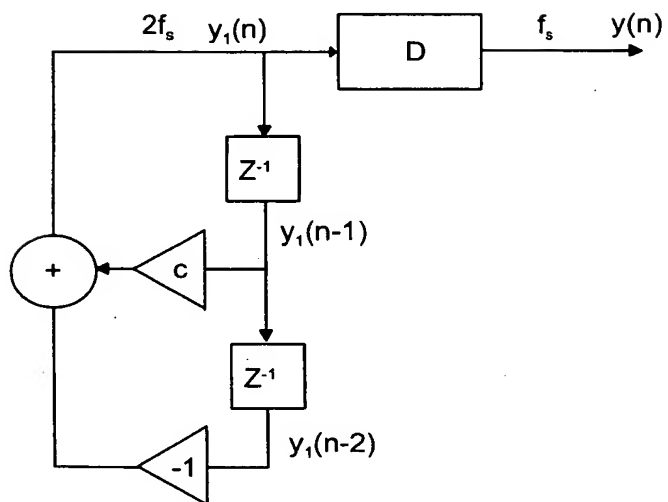


Fig. 2.

2/3

L6

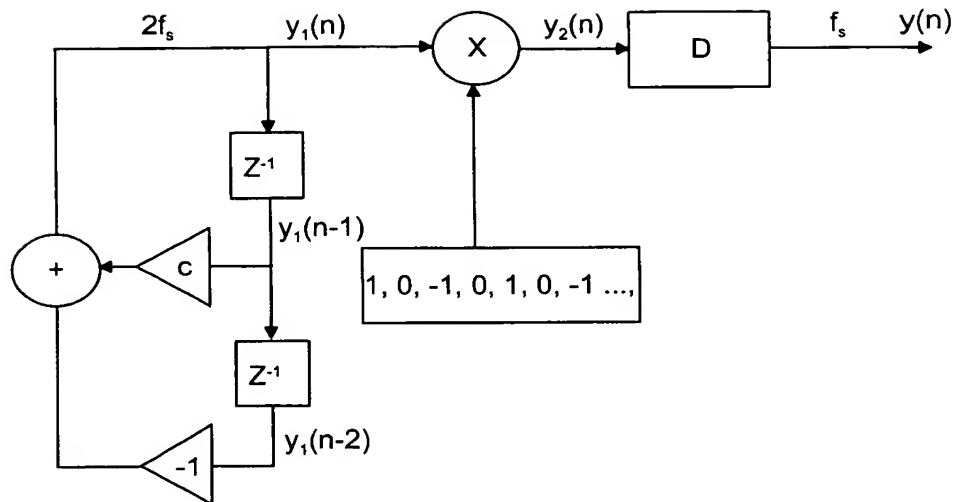


Fig. 3.

3/3

L6

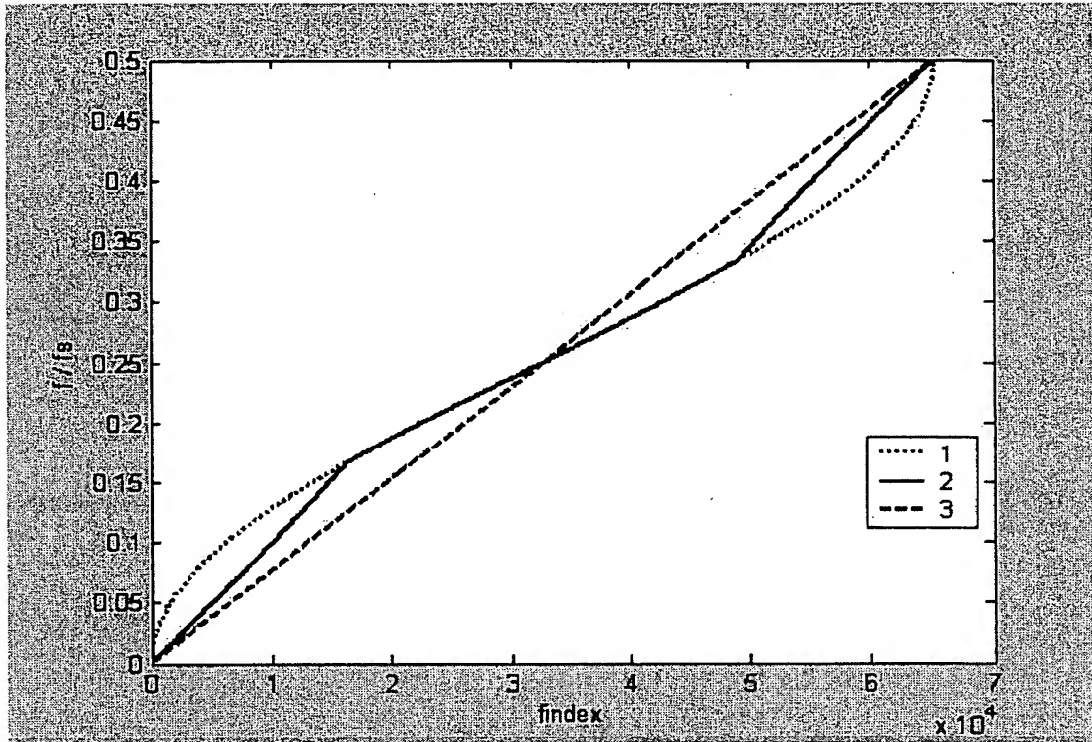


Fig. 4.